

**REVISIÓN DEL POTENCIALBIÓLOGICO DE LAS BACTERIAS SULFATO-
REDUCTORAS PARA LA MITIGACIÓN DE METALES PESADOS CONTAMINANTES
EN AGUAS DE USO INDUSTRIAL**

Camilo Duque Cely
Biólogo

**Especialización Planeación Ambiental
Y Manejo Integral de los Recursos Naturales**

Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingenieria
Bogotá Diciembre de 2015

**REVISIÓN DEL POTENCIALBIOLÓGICO DE LAS BACTERIAS SULFATO-
REDUCTORAS PARA LA MITIGACIÓN DE METALES PESADOS CONTAMINANTES
EN AGUAS DE USO INDUSTRIAL**

**REVIEW OF BIOLOGICAL POTENTIAL OF sulfate-reducing bacteria MITIGATION OF
HEAVY METAL CONTAMINANTS IN WATER FOR INDUSTRIAL USE**

Camilo Duque Cely

*Estudiante Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integrado de los recursos
Naturales. Universidad Miliar Nueva Granada. Bogotá. Correo electrónico:
duque.camilo@gmail.com*

RESUMEN

En este artículo se evalúa la tecnología de bio-remediación para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados. Se describen brevemente aspectos como origen, principios básicos, aplicación correcta, algunas limitaciones, y el empleo adecuado de productos bacterianos comerciales. También se estudia el potencial de la bio-remediación en ecosistemas tropicales y se presentan varios estudios relacionados con la bio-remediación. Finalmente, se analizan las posibilidades de desarrollo tecnológico para la bio-remediación en vertimientos industriales y la viabilidad de estas tecnologías y técnicas en Colombia.

Palabras Claves: Bioremediación, Metales Pesados, Sulfato-reductoras, Vertimientos, contaminación.

ABSTRACT

This article bioremediation technology for the treatment of water contaminated with heavy metals is evaluated. Aspects such as source, basic principles, properly applied, limitations, and appropriate use of commercial bacterial products are briefly described. The potential of the bio-remediation in tropical ecosystems is also studied and several related bio-remediation studies are presented. Finally, the possibilities of technological development for bio-remediation in industrial discharges and the viability of these technologies and techniques are discussed in Colombia.

KEY WORDS

Bioremediation, Heavy Metals, sulfate-reducing, dumping, pollution.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para definir el término remediación podemos decir que es el uso intencional de procesos de degradación químicos o biológicos para eliminar sustancias contaminantes ambientales que han sido vertidos con conocimiento o accidentalmente en el medio ambiente. Los procesos de remediación pueden efectuarse in situ, o sea en el mismo lugar donde ha ocurrido el derrame, o bien ex situ, separando la porción contaminada y trasladándola a un reactor. Tal es el caso de efluentes industriales o domiciliarios que se tratan previamente al vertido al medio ambiente (Vullo,2003).

Las Bacterias Sulfato-Reductoras (BSR) son microorganismos anaerobios obligados, metabólicamente versátiles provenientes de varias familias y diferentes géneros. Utilizan sulfato u otros compuestos oxidados de azufre como aceptor final de electrones (agente oxidante) para la producción de H₂S. Pueden crecer de forma heterotrófica usando moléculas orgánicas de bajo peso molecular y de manera autotrófica usando hidrógeno y dióxido de carbono (Nagpal et al., 2000; Lens & Kuenen, 2001)

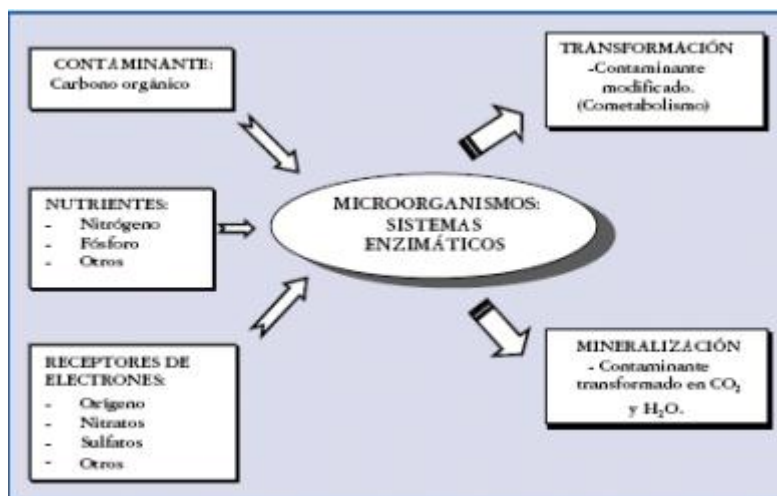


Imagen 1: actividades microbianas en el proceso de Bioremediación.

(Tomado de Vullo 2003.)

La bio-remediación al ser un proceso biológico presenta algunas ventajas comparativas respecto a las tecnologías tradicionales. Puesto que suele ser más económica, menos contaminante, y de mayor eficacia para grandes volúmenes y pequeñas concentraciones de metales pesados (Vicente, 2006).

Los metales pesados, a diferencia de los contaminantes orgánicos, no pueden ser degradados, por ello, los procesos de remediación se limitan a provocar la movilización y/o inmovilización de los contaminantes. Para el uso adecuado de los procesos de remediación, es conveniente utilizar microorganismos inmovilizados (Vicente, 2006).

A la pregunta ¿Puede ser la bio-remediación con bacterias sulfato-reductoras (BSR) una herramienta útil en el tratamiento de aguas impactadas y contaminadas con metales pesados? con este trabajo se busca identificar la eficacia de un tratamiento biológico con Bacterias sulfato-reductoras para tratar aguas contaminadas con metales pesados. Utilizando ejemplos de estudios de caso realizados en diferentes partes del mundo.

Adicionalmente identificar la utilidad de las bacterias sulfato-reductoras en los procesos de contaminación como también entender el término bio-remediación y mostrar algunas de las aplicaciones de esta, presentando ejemplos en diferentes partes del mundo.

Con esto ilustrar el potencial que ofrece la bio-remediación para la mitigación de impactos ambientales mediante la restauración de aguas contaminadas, al inmovilizar y precipitar los iones permitiendo su extracción de los efluentes de agua.

2. INTRODUCCION

El término Bio-remediación se refiere a la aplicación de estrategias de remediación biológicas, basadas en la capacidad de los microorganismos de interactuar en forma directa con los contaminantes (Vullo, 2003).

Gracias a que los microorganismos tienen la capacidad de transformar compuestos tóxicos en compuestos menos tóxicos, y también inmovilizar y concentrar estos compuestos, son tenidos en cuenta para el tratamiento y recuperación de las aguas vertidas con altas cargas de contaminantes generadas en las actividades industriales.

Estas actividades generan una contaminación a gran escala con metales pesados (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Co, Ag, Au) en el medio ambiente. En el caso particular de los acuíferos y aguas superficiales, pueden comprometer seriamente el uso de este recurso como fuente de agua para el consumo humano (Castillo Et al, 2011).

La remediación de estos ambientes contaminados mediante la utilización de métodos químicos involucra procesos de costos excesivamente altos debido a la especificidad requerida. Además, este tipo de solución no es aplicable en procesos de remediación in situ, ya que es imposible tratar un metal determinado debido a la competencia existente por la presencia de otros. La aplicación de métodos de remediación efectivos depende del conocimiento de los factores hidrológicos y geológicos del sitio, la solubilidad y especiación de los metales pesados, los procesos de atenuación e inmovilización y la medida en que los metales puedan dispersarse tanto horizontal como verticalmente a medida que migran por el suelo o el agua. Por otra parte, la utilización de métodos biológicos para remediar un ambiente contaminado (bio-remediación) ofrece una alta especificidad en la remoción del metal de interés con flexibilidad operacional, tanto en sistemas in situ como ex situ (Schroeder Et al, 1999).

Hoy en día la bio-remediación es una de las tecnologías que se están investigando y está resultando una de las más prometedoras y menos costosas.

Esta tecnología surgió del conocimiento empírico de los operadores de las refinerías del petróleo, quienes desecharon los lodos de los separadores tipo API (Instituto Americano

del Petróleo) y otros residuos aceitosos en forma de una capa delgada sobre la parte superior del suelo en un sitio próximo a la refinería. Posteriormente se dieron cuenta que estos residuos desaparecían durante el curso de varios meses. Previo a una mayor regulación y estricto control, esta técnica, llamada “landfarming” (granjeo) fue ampliamente usada sin comprender los procesos que causaban la degradación de los lodos (King et al., 1992).

Las bacterias sulfato-reductoras (BSR) son una comunidad bacteriana muy importante dentro de la biodiversidad microbiana ya que al reducir los sulfatos a sulfuros permiten la precipitación e inmovilización de metales tóxicos solubles en forma de sulfuros metálicos insolubles. Esta capacidad ha fomentado su uso en las tecnologías de tratamiento de aguas tanto residuales como contaminadas con metales tóxicos. Sin embargo, la falta de tolerancia de las células bacterianas a altas concentraciones de metales pesados es uno de los principales factores que limitan su uso en bio-remediación (Sani et al., 2001).

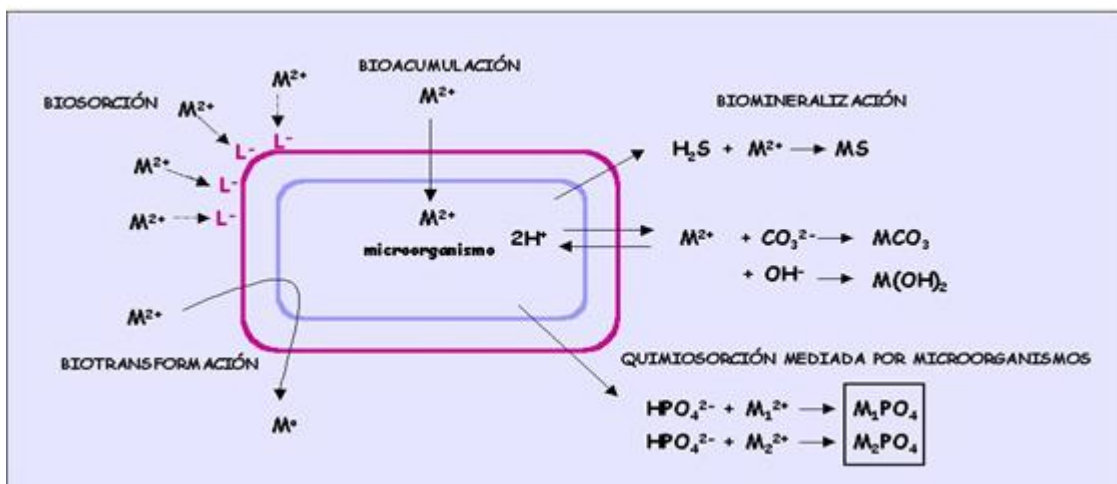


Imagen 1: Mecanismos de interacción entre metales pesados y microorganismos. (Tomado de Soto, Et al 2010)

2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA BIORREMEDIACIÓN.

El principal problema de la biodegradación, es que en altas concentraciones del contaminante en el agua, pueden producirse efectos tóxicos sobre la población microbiana. Otro, de los problemas es que la presencia de nutrientes en el agua sean insuficientes; sin embargo, la presencia de cantidades mínimas de nitrógeno y fósforo permiten la biodegradación, utilizando periodos de tiempo más prolongados para la misma. Los principales factores ambientales que influyen en la biodegradación son: temperatura, pH, humedad, nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo), aceptores de electrones (oxígeno, nitrato, sulfato) y presencia de microorganismos (Roldán, A., y Iturbe, R., 2002).

2.1.1 Temperatura: Es uno de los factores ambientales más importantes, esta tiene una gran influencia en la biodegradación por su efecto sobre la naturaleza física y química de los Hidrocarburos (Pardo, J., et al., 2004). También la temperatura afecta la actividad

metabólica de los microorganismos y la tasa de biodegradación. Por lo general, las bacterias crecen en intervalos de temperatura reducidos, entre 18 y 30°C (condiciones mesófilas), y si se superan los 40°C se produce una disminución de la actividad microbiana (Gómez, S., et al., 2008).

2.1.2. pH: Es un factor químico importante que influye en la recuperación de aguas contaminadas por hidrocarburos y metales pesados, ya que determina el grado de adsorción de iones por las partículas del suelo, afectando así su solubilidad, movilidad, disponibilidad y sus formas (Volke, T., y Velasco, J., 2002). Las formas catiónicas son más solubles a pH ácido mientras que las formas aniónicas son más solubles a pH alcalino.

2.1.3. Humedad: Es un factor que actúa como medio de transporte de nutrientes y oxígeno a la célula ya que forma parte del protoplasma bacteriano, este transporte es necesario para el crecimiento y desarrollo bacteriano.

2.1.4. Nutrientes Los nutrientes son uno de los factores más relevantes por ser sustancias químicas necesarias para la actividad microbiana y metabólica de los microorganismos, por lo que estos constituyentes se deben encontrar disponibles para su asimilación y síntesis, la disponibilidad de estos aumentan la eficiencia y el buen desarrollo de la biorremediación (Gómez, S., et al., 2008).

2.1.5. Aceptor de electrones: son factores que aumentan la actividad de las poblaciones microbianas nativas o inoculadas (Hamdi, H., et al, 2007). En la biorremediación es fundamental el proceso metabólico de transferencia de electrones. La energía necesaria para el crecimiento microbiano se obtiene durante el proceso de oxidación de materiales reducidos, donde las enzimas microbianas catalizan la transferencia de los electrones. Los aceptores más utilizados por los microorganismos, son el oxígeno y los nitratos. (Gómez, S., et al., 2008).

Ecuación proceso de biorremediación aerobia y anaerobia:

Degradación aerobia: $\text{Sustrato} + \text{O}_2 = \text{biomasa} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;

Degradación anaerobia: $\text{Sustrato} + (\text{NO}_3^-, \text{SO}_4^-, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{4+}, \text{CO}_2) = \text{Biomasa} + \text{CO}_2 + (\text{N}_2, \text{Mn}^{2+}, \text{S}^{2-}, \text{Fe}^{2+}, \text{CH}_4)$

2.1.6. Microorganismos: La biodegradación de hidrocarburos y metales pesados en diferentes ecosistemas (suelo y agua) requiere de la presencia de microorganismos (bacterias, hongos, algas) que, a través de la actividad bioquímica, oxiden los hidrocarburos. Algunas especies de microorganismos pueden metabolizar un número limitado de hidrocarburos y metales pesados, de manera que la presencia de poblaciones mixtas con diferentes capacidades metabólicas, es necesaria para degradar mezclas complejas. En ecosistemas en donde las poblaciones microbiológicas degradadoras no son significativas, se han utilizado la bioaumentación con el propósito de incrementar la tasa de biodegradación de los contaminantes. Se prefiere la bioaumentación empleando microorganismos nativos, ya que otros microorganismos pueden presentar problemas de adaptación. Recientemente se ha considerado el uso de microorganismos genéticamente manipulados para la biorremediación de sitios contaminados (Ríos, R., 2005).

PROPIEDAD	RANGO	REFERENCIA
Temperatura	(°C) 18° - 30°	Gómez, S., et al, 2008
pH	(unidades) 6 – 8	Ríos, R., 2005
Humedad	20% - 75%	Gómez, S., et al, 2008
Nutrientes	C:N:P 100:10:2– 100:2:0,4	Gómez, S., et al, 2008.
Microorganismos degradadores	(UFC) 106 – 108	Ríos, R., 2005

Tabla 1. Propiedades Óptimas para la Bioremediación.

Fuente: elaboración propia.

2.2. Dentro de los metales pesados existen dos grupos:

2.2.1. Oligoelementos o micronutrientes, que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza, por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Estos mismos elementos por encima de cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: arsénico, boro, cobalto, cromo, cobre, molibdeno, manganeso, níquel, selenio y cinc.

Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos conlleva disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son principalmente: cadmio, mercurio, plomo, cobre, níquel, antimonio y bismuto (Vullo, 2003).

Oligoelementos (Elementos presentes en concentraciones Trazas)	Requeridos en Cantidades pequeñas para el metabolismo de Animales y plantas.	As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se, y Zn.
Metales Pesados sin Función Biológica conocida	Su presencia en determinadas cantidades en seres vivos provoca disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos	Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi.

Tabla2: Oligoelementos Trazas, y Metales pesados Sin Función Biológica conocida.

Tomado de: Elaboración Propia.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Para la realización de este documento se realizara una revisión bibliográfica aplicada al tema de investigación de esta revisión se extraerán las metodologías más utilizadas hoy en día para la realización de la bio-remediación de aguas de uso industrial, y se mostrara como se recolectan, cultivan, utilizan, etc, las bacterias sulfato- reductoras para este proceso.

También se mostrará cómo estos procesos son prácticas en primer lugar amigables con el medio ambiente ya que las bacterias no son agentes contaminantes en ningún caso sino que por el contrario son habitantes comunes del suelo y del agua, y su utilización enriquece tanto las aguas como los suelos con poblaciones de bacterias sulfato reductores y le entrega a estos propiedades de calidad que no poseía antes de que ocurriera el vertimiento o la contaminación. Mejorando así su capacidad para la agricultura en el caso del suelo y mejorando la calidad del agua al punto que puede ser utilizada para riego o para consumo directo.

3.2. BUSQUEDA DE LA INFORMACION.

Para la revisión bibliográfica se acudirá a la ayuda de fuentes secundarias obtenidas en la web ya sea en bases de datos o en motores de búsqueda. Cabe aclarar que se utilizarán artículos recientes y que únicamente se tendrán en cuenta los artículos escritos en inglés y en español, los artículos escritos en otros idiomas serán descartados.

3.3. ORGANIZACIÓN Y ANALISIS DE LA INFORMACION.

Una vez obtenida la información se procederá a organizarla sistemáticamente de la más relevante y detallada para el contexto de la investigación a la más general y que explique de manera más amplia la Bio- remediación, posteriormente a esta organización se procederá a presentar la información de la siguiente manera:

En primer lugar se mostraran las fuentes de contaminación del agua las cuales suelen ser principalmente dos (2) naturales, o antropogenicas que son principalmente tres (3):

- Industrial
- Actividad doméstica.
- Agricultura y Ganadería.

En segundo lugar se mostraran algunas de las técnicas más utilizadas en los estudios de caso obtenidos.

Finalmente se propondrá alguna alternativa que pueda ser viable en Colombia para algún caso particular.

4. RESULTADOS

4.1. Fuentes de Contaminación del agua

Existen 2 fuentes de contaminación del agua: la natural, la cual no provoca altas concentraciones de polución y por lo general es muy dispersa por lo cual puede ser prácticamente despreciable, la segunda fuente es la actividad antropogenica o humana que es en realidad la que preocupa y la causante de la problemática actual. El agua puede ser contaminada por desechos orgánicos los cuales pueden contener agentes patógenos como Bacterias, Virus, Protozoarios, Parásitos, etc. Estos desechos requieren oxígeno y pueden ser degradados por bacterias aeróbicas, si las poblaciones de estas bacterias son muy abundantes pueden agotar el oxígeno del agua ocasionando así la muerte de las formas de vida acuática. La contaminación puede también ser producto de la acción de sustancias inorgánicas tales como Ácidos, Compuestos de metales tóxicos (Mercurio, Cadmio; Plomo) que producen que el agua venenosa al consumirla, en el tercer lugar de las formas de contaminación del agua se encuentra la contaminación que resulta por la acción de sustancias químicas Orgánicas es decir Petróleo, Plásticos, Plaguicidas, Detergentes afectan e incluso amenazan la vida de los organismos acuáticos (Vullo, 2003, Wei, 2005).

4.1.1. Actividades Humanas causantes de contaminación de efluentes.

4.1.2. Industrial.

La industria produce diferentes tipos de residuos contaminantes dentro de los cuales se encuentran los metales, en los países en vía de desarrollo por lo general no existen métodos adecuados de depuración y extracción de metales tóxicos, como si existen en los países desarrollados, el no tener estos sistemas de depuración ocasiona que el problema de contaminación de efluentes vaya en aumento, actividades como la construcción, la siderurgia, los fertilizantes, pinturas, tintes y minería son algunos de los principales responsables de la emisión de metales al ambiente.

Sector industrial	Substancias contaminantes Principales
Construccion	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Mineria	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energia	Calor, hidrocarburos y productos químicos.

Textil y Piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acéticos y fórmico, sólidos en suspensión
Automotriz	Aceites, lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, Fluoruros, Cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc y los compuestos de todos ellos.
Química Orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y Papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, Barnices y tintas	Compuestos organoestamínicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

Tabla 3 Resumen de actividades humanas causantes de contaminación en efluentes.

Tomado de: (Realph Et al, 2008).

4.1.3 Actividad doméstica.

En promedio Un hogar produce de 4-12 galones de materiales peligrosos y alrededor de 20 % de este material es desechado por los desagües, una sustancia se considera peligrosa cuando es inflamable o si al combinarse con otras reacciona o explota, si es tóxica o corrosiva (Realph Et al, 2008).

4.1.4. Agricultura y Ganadería.

Los pesticidas inorgánicos son sumamente tóxicos y por consiguiente también sus vertimientos lo son. Esta toxicidad es debida a que los pesticidas contienen arseniatos de plomo y cadmio, sulfato de cromo, etc. Muchos de los fertilizantes que contienen estos componentes ya tienen restricciones legales para su uso, sin embargo estos elementos son persistentes, y aún existen lugares con altas concentraciones de estos productos, las extensiones de tierra utilizadas para la ganadería también son consideradas fuentes de contaminación, pero no puntuales ya que estas zonas suelen ser muy amplias y tienen descargas en las fuentes de agua por diferentes lugares.

4.2. CONTAMINACION CAUSADA POR METALES PESADOS.

Se estima que hay alrededor de un millón de sustancias diferentes que son vertidas por actividades antropogenicas, la contaminación se puede dar por el aumento o descenso en la concentración de sustancias existentes naturalmente, o bien por la aparición de sustancias que de no ser por las actividades humanas no llegarían a las fuentes de agua (Dua Et al, 2002, Gonzalez 2011).

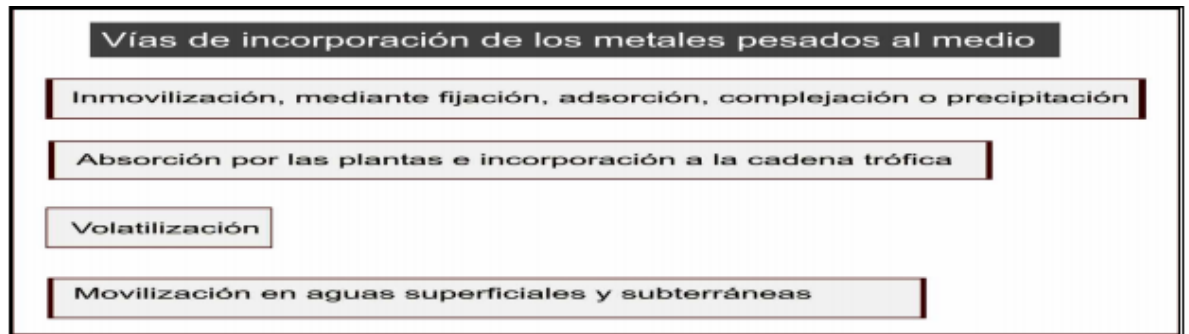


Imagen 3: Vías de Incorporación de los metales pesados al medio. Tomado de Vullo, 2003

4.3. Metodologías más utilizadas.

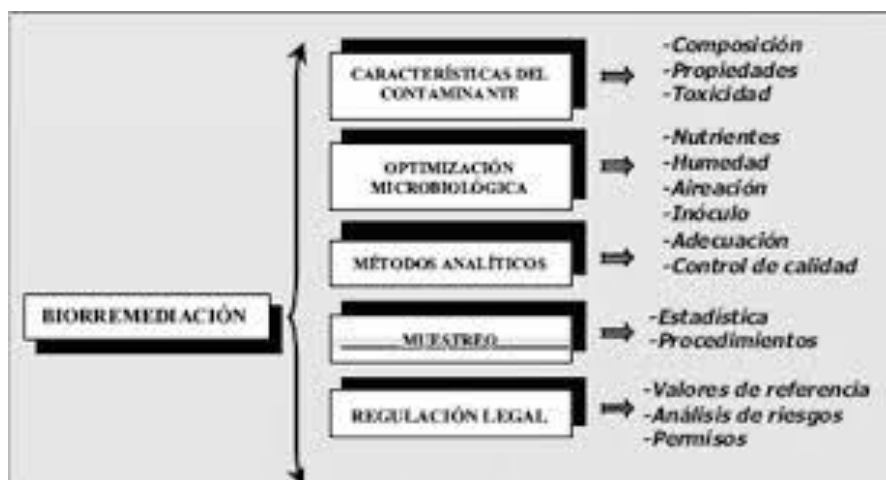


Imagen 4: Parámetros implicados en el proceso de bio-remediación. Tomado de Vullo, 2003.

Lo primero que se debe realizar al proponer un tratamiento con bio-remediación para la descontaminación de agua es una prueba de factibilidad para caracterizar las propiedades específicas del sitio, este estudio consta de 2 partes principales 1) la caracterización de las propiedades físico-químicas del material (agua, suelo, lodo, sedimento) a tratar y del contaminante, y 2) la determinación del potencial de los microorganismos del sitio para descomponer los hidrocarburos. Estas pruebas ayudan a optimizar las condiciones para el manejo técnico del proyecto, y también son importantes para evitar “sorpresas” que puedan complicar el proyecto, haciéndolo más tardado y costoso (Schroeder Et al, 1999).

El siguiente paso a seguir es la toma de muestras, las cuales se realizan en frascos de vidrio, y se toman muestras tanto de lodo negro, como de agua, estas muestras son llevadas al laboratorio donde se realizan pruebas que permiten determinar cuál es la cepa bacteriana más apropiada para ser inoculada en el lugar que se pretende recuperar.

Posterior a la toma de muestras se continúa con el cultivo de bacterias sulfato reductoras, el cual consiste en tomar muestras Stock de una colección ya identificada y ponerlas a crecer en diferentes medios, los cuales pueden ser: Columnas de Winogradsky, o medios Pfennig o postgate C, los cuales son específicos para bacterias sulfato reductoras (Gutiérrez Et al, 2013).

Una vez obtenidas las colonias bacterianas se procede a realizar un aislamiento primario, el cual consiste en establecer cultivos anaeróbicos a temperatura ambiente por un periodo de tiempo que es aproximadamente 1 mes. Estos cultivos se realizan en un batch en condiciones anoxicas utilizando nitrógeno libre de oxígeno, en frascos cerrados con tapones de goma y anillos de

aluminio, a los cuales se les adicionan diferentes fuentes de Carbono, y se cultivan en diferentes concentraciones de pH (Gutiérrez Et al, 2013).

Luego de obtener las colonias aisladas se continúa con el aislamiento secundario el cual consta de 2 partes, la primera es el aislamiento en placa que consiste en trasladar las colonias aisladas a un medio solido lo que permite un mejor almacenamiento y una vida útil más larga. Esta parte se realiza con una técnica que se denomina cultivo e tubos roller, la segunda parte es la encapsulación en perlas de agar-agar la cual permite proteger a las bacterias de condiciones extremas de pH (ácidas) que pueden existir en los efluentes contaminados, esta encapsulación consiste en mezclar una dilución de la suspensión bacteriana con agar-agar sobre y vaselina liquida sobre una cama de hielo lo que genera las capsulas. Estas capsulas se pueden almacenar fácilmente y deben permanecer refrigeradas (Gutiérrez Et al, 2013).

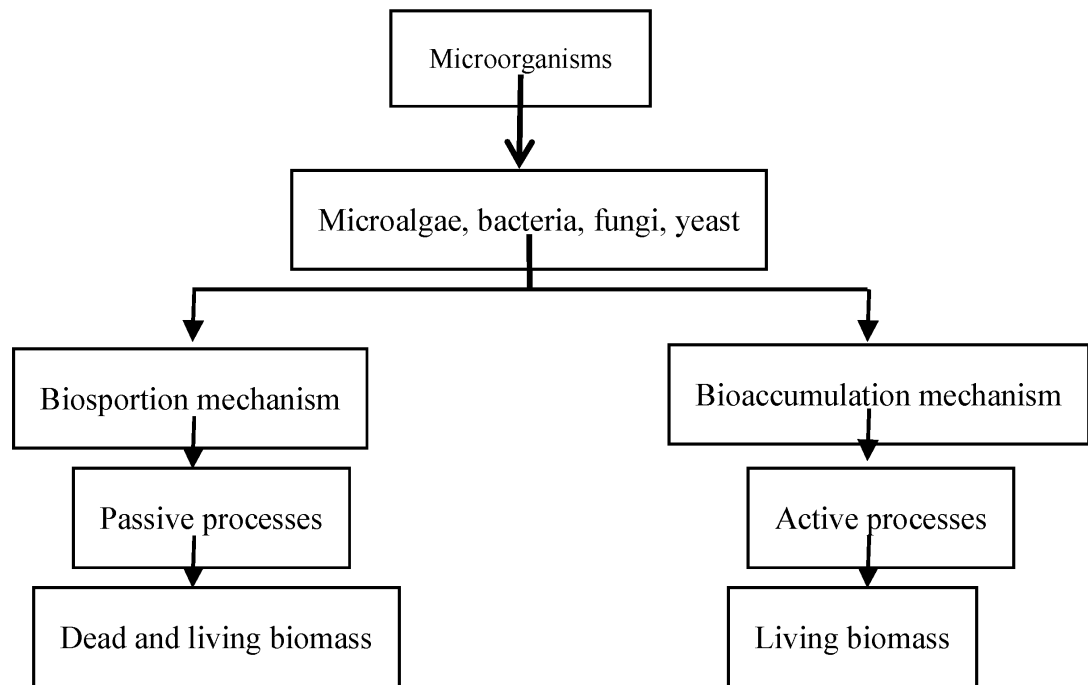


Imagen 4: Mecanismos asociados con Bio-remdiacion por microorganismos tomado de Coelho 2015.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSION

La bio-remediación, es una tecnología, y como tal tiene un gran potencial en la recuperación de sitios contaminados por hidrocarburos de petróleo en el trópico, adicionalmente es por lo general más barata que otras alternativas de restauración. Sin embargo, es necesario considerar los factores determinantes para que un sistema de bio-remediación funcione correctamente, y se deben entender las limitaciones de esta tecnología para así poder

compensarlas. Teniendo en cuenta esto es recomendable realizar un estudio de factibilidad para así evitar problemas durante el desarrollo del proyecto y así como para optimizar las condiciones del tratamiento (Schroeder Et al, 1999).

La bio-remediación se puede utilizar para el tratamiento de residuos aceitosos característicos de los hidrocarburos como el petróleo, ya que reduce en gran manera las concentraciones de hidrocarburos y su toxicidad. Investigaciones del potencial de bio-remediación en suelos tropicales demuestran, que hay microorganismos degradadores de petróleo en ellos, éstos pueden usar una gran variedad de hidrocarburos como fuentes (Schroeder Et al, 1999).

Estudios recientes, realizados en el trópico, revelan la presencia de bacterias nativas degradadoras de petróleo en suelos y recortes de perforación, estas bacterias están adaptadas a las condiciones climáticas del trópico. Y la contaminación por petróleo tiende a estimular las poblaciones microbianas de esta región (Schroeder Et al, 1999).

La aplicación de estos resultados tiene un gran potencial para la remediación de los sitios impactados por hidrocarburos en el trópico. Esta tecnología aplicada a la utilización de microorganismos nativos en la bio-remediación debe resultar en un aumento de la eficiencia en la remediación a un costo significativamente más bajo que cualquier otra tecnología o tratamiento. Las tecnologías aplicadas en el trópico deben considerar las características propias del entorno (tales como la alta temperatura y considerable precipitación) así como también en que suelos o aguas es posible utilizarlas y donde definitivamente no se pueden aprovechar (Schroeder Et al, 1999).

Las condiciones climáticas de esta zona son idóneas para la biodegradación. Ahora se requiere elaborar tecnologías (Diseño, implementación y manejo) que aprovechen estas condiciones. Además, se necesita seguir experimentando y observando para encontrar otros procesos importantes del trópico para la restauración, Como pueden ser la foto-oxidación, oxidación química, y la fitorremediación (remediación con plantas) y buscar cómo utilizarlos (Schroeder Et al, 1999)..

Para estas investigaciones es importante considerar los factores socio-económicos de la región. La mayoría de las tecnologías de remediación procedentes de países desarrollados están elaboradas para realizar una obra en poco tiempo y empleando poco espacio. Esto debido a que muchas de estas tecnologías se aplican en zonas urbanas, en donde el espacio es limitado, y se hace necesario sacrificar economía por tiempo. En la zona petrolera del trópico, la gran mayoría de regiones contaminadas por hidrocarburos son áreas rurales, y muchas de ellas en zonas bajas. Estas áreas generalmente son poco aprovechables para la ganadería y la agricultura, y su rendimiento es relativamente bajo. Lo cual es una ventaja para no tener prisa para su restauración. En estas regiones se podrían desarrollar tecnologías menos rápidas, y más económicas (como la biorremediación y fito-remediación). O buscar otras tecnologías de biorremediación menos intensivas, que son más demoradas pero igualmente efectivas, y mucho menos costosas. Algunas posibilidades de estas otras tecnologías podrían ser algún tipo de compostaje, o una combinación de mitigación física con fito-remediación. Estas son algunas de las

muchas posibilidades para aprovechar del gran potencial que presenta la biorremediación de petróleo en el trópico (Schroeder Et al, 1999).

BIBLIOGRAFIA

1. E. Realp, J.A. Doménech, R. Martínez-García, C. Restrepo, S. Lladó, M. Viñas y A.M. Solanas. 2008. Ensayo piloto de biorremediación por la tecnología de la biopila dinámica para la descontaminación de suelos contaminados por creosotas provenientes de las actividades dedicadas a la preparación de la madera. Revista Técnica Residuos. Año 2008. Año nº 18. Número 103: 38-49.
2. Gutierrez R, A.V., (2007), Aislamiento y cultivo de Bacterias sulfatoredutoras acidófilas para la producción de Sulfuro Biogénico para la precipitación de metales pesados. Facultad de Ciencias Farmacéuticas Y Bioquímicas, Universidad Mayor de san Andrés, La Paz-Bolivia.
3. JULIO CASTILLO, RAFAEL PÉREZ-LÓPEZ, MANUEL A. CARABALLO, JOSÉ M. NIETO, (2011), Precipitación de Esfalerita y Wurtzita por Bacterias Sulfato-Redutoras. revista de la sociedad española de mineralogía.
4. Lens, P.N.L., and Kuenen, J.G. (2001) The biological sulfur cycle: novel opportunities for environmental biotechnology. WaterSciTechnol 44: 57-66.
5. Nagpal S., Chuichulcherm S., Peeva L., Livingston A. (2000) Microbial Sulphate Reduction in a Liquid-Solid Fluidised Bed Reactor. *Biotechnology and Bioengineering* **70**: 370-380.
6. Randy H. Adams Schroeder, Verónica I. Domínguez Rodríguez y Leonardo García Hernández (1999), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Km 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas, Villahermosa, Tabasco, México.
7. Soto C, Gutiérrez S, Rey-Leon A, González Rojas E. (2010) Biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo. Grupo de Investigación GRESIA, NOVA Publicación Científica en ciencias Biomédicas. Vol 8, Pags 121-240, Universidad Antonio Nariño.
8. Vicente M.S. (2006). *Uso de bacterias sulfato-reductoras inmovilizadas para la precipitación de metales pesados*. Facultad de Ciencias Exactas Universidad Nacional de La Plata.
9. Vullo D.L. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química Viva* **2**. Disponible en quimicaviva@qb.fcen.uba.ar.
10. Wei, Q.F., Mather, R.R., Fotheringham, A.F. Oil removal from used sorbents using a biosurfactant. *Bioresource Technology* 2005; 96 331-334.
11. M. Coelho, Helen C. Rezende, Luciana M. Coelho, Priscila A.R. de Sousa, Danielle F.O. Melo and Nívia M.M. Coelho, (2015), Bioremediation of Polluted Waters Using Microorganisms, *Agricultural and Biological Sciences* » "Advances in Bioremediation of Wastewater and Polluted Soil", book edited by Naofumi Shiomi.

12. Ríos, R. 2005. Estudio de la Estimulación Biológica Para el Tratamiento de Residuos de Perforación Petrolera Empleando Lisímetros. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Casa Abierta al Tiempo. México D.F.
13. Gómez, S., Gutiérrez, D., Hernández, A., Hernández, C., Losada, M., y Mantilla, P. 2008. Factores Bióticos y Abióticos que Condicionan la Biorremediación por *Pseudomonas* en Suelos Contaminados por Hidrocarburos. Bacteriología y Laboratorio Clínico de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá. Colombia.
14. Roldán, A., y Iturbe, R. 2002. Saneamiento de Suelos Contaminados con Hidrocarburos Mediante Biopilas. Instituto de Ingeniería, UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Universitaria. México D.F.
15. Pardo, J., Perdomo, M., Benavides, J. 2004. Efecto de la Adición de Fertilizantes Inorgánicos Compuestos en la Degradación de Hidrocarburos en Suelos Contaminados con Petróleo. Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad De La Salle. Universidad de La Salle. Bogotá D.C., Colombia.
16. Volke, T., y Velasco, J. 2002. Tecnologías de Remediación para Suelos Contaminados. Instituto Nacional de Ecología. INE-SEMARNAT. México. D.F.
17. Hamdi, H., Benzarti, S., Manusadzianas, L., Aoyama, I., Jedidi, N. 2007. Bioaugmentation and biostimulation effects on PAH dissipation and soil ecotoxicity under controlled conditions. *Soil Biology & Biochemistry* 39, 1926–1935. Japan.